

Ascertaining type list for liquid sample examination - using imaging pick-up and localising appts. for recognising and locating object within registered image data to enable automatic output from identifying appts.

Publication number: DE4211904

Publication date: 1992-11-19

Inventor: MAIER WERNER (DE); VOLK CHRISTIAN (DE)

Applicant: MAIER WERNER (DE); VOLK CHRISTIAN (DE)

Classification:

- International: G01N33/18; G01N33/18; (IPC1-7): G01N15/10; G01N33/48; G01N35/00

- European: G01N33/18; G01N33/18F1

Application number: DE19924211904 19920409

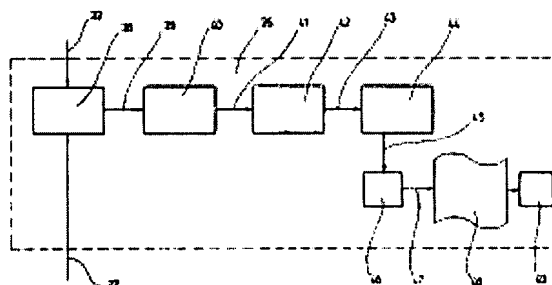
Priority number(s): DE19924211904 19920409; DE19914111472 19910409

Report a data error here

Abstract of DE4211904

The method includes optical detection of the sample (13) as a result of image data; identification and location of the objects (14) in the detected image data; and the automatic identifying of the located objects (14) by the automatic comparison of the respective located object, with a determined group of reference objects. The reference objects are selected from a large group of reference objects on the basis of the coarse characteristics of the located objects (14), obtained from the image data. The identified objects (14) are counted according to the respective types; and the counted objects (14) are entered in the type list (48). The system for carrying out the method includes a camera type system (16), a locating unit (40), an identifying unit (44) and a counter (46).

USE/ADVANTAGE - Ecosystem investigations. Subjective analysis is excluded. Automatic identification and analysis of specimens including bacteria from 1 micron size. Cluster of objects can be examined with background taken into consideration.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 42 11 904 C 2

⑤① Int. Cl. 5:
G 01 N 33/483
G 01 N 35/00
G 01 N 15/10
G 06 K 9/00

②① Aktenzeichen: P 42 11 904.9-52
②② Anmeldetag: 9. 4. 92
④③ Offenlegungstag: 19. 11. 92
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 3. 94

DE 42 11 904 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①

09.04.91 DE 41 11 472.8

⑦③ Patentinhaber:

Maier, Werner, 70372 Stuttgart, DE; Volk, Christian,
70499 Stuttgart, DE

⑦④ Vertreter:

Witte, A., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Weller, W., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat.; Gahlert, S., Dipl.-Wirtsch.-Ing.Dr.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 70178 Stuttgart

⑥② Teil in: P 42 44 708.9

⑦② Erfinder:

gleich Patentinhaber

⑥⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	38 41 387 A1
DE	38 36 716 A1
DE	35 43 515 A1
DE	34 42 568 A1
DE	33 13 789 A1
DE	30 44 883 A1
DE	29 03 855 A1
DE	29 03 625 A1
DE	28 23 490 A1
DE	27 20 036 A1
DE-OS	24 23 455
US	49 82 437
US	49 32 044
US	48 45 765
US	43 07 376
EP	03 54 701 A2
EP	01 36 718 A2
WO	91 02 330
WO	90 10 273

messen + prüfen/automatik 1984, S. 310,311,322;

⑤④ Automatisches Verfahren zum Erstellen einer Liste unterschiedlicher Arten für eine flüssige Probe

DE 42 11 904 C 2

Die Erfindung betrifft ein automatisches Verfahren zum Erstellen einer Liste unterschiedlicher Arten für eine flüssige Probe mit Objekten, die form- und/oder ortsveränderlich sein können und sich z.T. gegenseitig überdecken oder überlappen, zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe.

Ein derartiges, allerdings manuell durchgeführtes Verfahren ist aus der Praxis bekannt. Es dient zur Untersuchung von belebten Schlämmen u.ä. Biomassen, zur Bestimmung von Gewässergütern und/oder zur Überwachung biologischer Abwasserreinigungssysteme. Zu diesem Zweck wird das Ökosystem "belebter Schlamm" untersucht, das einen definierten Raum mit generell gleichen Eigenschaften darstellt, der in den Lebensraum, das nicht lebende Biotop, und in die Artengemeinschaften oder die Lebensgemeinschaft, die Biozönose zerfällt.

Die Biozönose setzt sich aus unterschiedlichen Arten zusammen, die sehr verschiedene Objektdichten aufweisen. Darüber hinaus reicht die Größe der Objekte, zu denen Algen, Pilze, Protozoen und Metazoen zählen, von 1 µm (Bakterien) bis zu mehreren mm (Kleinstlebewesen). Pro Probe finden sich bis 100 und mehr Objektarten und je Art von einem Objekt bis zu mehreren tausend Objekten.

Weiterhin finden sich in der Probe nicht nur lebende Objekte, sondern auch sonstige Partikel, wie Flocken, Fasern, Haare etc.

Mit "Art" oder "Arten" werden im folgenden Text sämtliche Objekte des Ökosystems bezeichnet, also beispielsweise sowohl Organismen als auch Flocken, Haare etc.

Zweck der Untersuchung ist es, Aussagen über Vorgeschichte, Zustand und wahrscheinliche Weiterentwicklung des Ökosystems machen zu können. Weiterhin geht es um die Überwachung des Betriebsablaufes und um einen "Gesundheitscheck" des Ökosystems eines biologischen Abwasserreinigungssystems. Die im Rahmen der Untersuchung gewonnenen Aussagen werden genutzt, um die betriebstechnischen und die chemisch-physikalischen Daten der Anlage zu bestätigen und/oder zu ergänzen bzw. im Falle eines Störfalles gezielt weitere Untersuchungen zu veranlassen. Die Daten werden weiterhin zu einer Langzeituntersuchung der Biozönose der jeweiligen Anlage verwendet.

Im Rahmen dieser Untersuchungen ist es erforderlich, eine Artenliste sämtlicher Objekte in einer Probe (z. B. 50 µl) zu erstellen und auszuwerten. Das Erstellen der Artenliste wird zur Zeit von Personal mit unterschiedlicher Vorbildung vorgenommen, das dazu ein Mikroskop und ggf. eine CCD-Kamera mit Videorekorder zur Dokumentation der untersuchten Proben verwendet.

Die Einordnung der unterschiedlichen Objekte in die verschiedenen Objektklassen oder Arten ist größtenteils Wissens- und Erfahrungssache, wobei die dabei verwendeten Methoden je nach dem Erfahrungsstand des mit der Untersuchung Beauftragten sehr unterschiedlich sind. Naturgemäß ist auf diese Weise nur eine sehr unvollständige Datenerfassung möglich, die lediglich ein Teil der zu untersuchenden Biomasse repräsentiert.

Die auf diese Weise erstellte Artenliste wird für eine Fortschreibung der Langzeitüberwachung (Populationswachstum der einzelnen Arten; Flockenbildung und -alter; Komplexität der Biozönose; Sauerstoffgehalt anhand von Indikatororganismen; Saprobien-Stu-

fen als Index für die Wassergüte) in einen Computer eingegeben und zur Erkennung von periodischen Prozessen schon im frühen Stadium verwendet. Weiterhin führt der Computer eine Modellerstellung der Biozönose durch, um die spezifischen Abhängigkeiten zwischen den Arten zu bestimmen und um so zwischen normalen/üblichen Veränderungen der Biozönose einerseits und von außen hervorgerufenen Abweichungen andererseits unterscheiden zu können.

Mit dem insoweit beschriebenen Untersuchungsverfahren werden nicht nur Kläranlagen überprüft, auch natürliche Ökosysteme wie Seen, Flüsse, Meere etc. werden damit untersucht/überwacht.

Das vom Menschen durchzuführende Erstellen der Artenliste bedingt nicht nur den limitierenden Zeitfaktor sondern auch eine unerwünschte hohe Fehlerrate. Darüber hinaus ist die auf diese Weise gewonnene Datenmenge für einen umfassenden Überblick über den Zustand des jeweils untersuchten Ökosystems oft viel zu gering.

Eine umfassende chemische Analyse von Belebtschlämmen ist zwar möglich, dauert aber noch länger als die eingangs beschriebene Bestimmung unter Heranziehung einer vom Menschen erstellten Artenliste.

Nun ist es zwar bekannt, Fluoreszenzmikroskope mit Kamerasystemen zu verwenden, die Proben sind hier jedoch fast ausschließlich zweidimensional und trocken. Flüssige Proben mit bewegten Objekten können mit solchen, insbesondere in Forschungslaboratorien zu findenden Systemen, nicht untersucht werden.

Derartige Systeme suchen aber nach gewünschten Objekten, während es im Falle der Erstellung der Artenliste um ein Identifizieren unbekannter Objekte geht, deren Lage im Raum beliebig sein kann.

Darüber hinaus können die Objekte in den zu untersuchenden flüssigen Proben auch als Clusterobjekte auftreten. Unter Clusterobjekten werden hier mehrere zusammenhängende Objekte verstanden, z. B. können sich an einer Flocke mehrere Mikroorganismen anheften, so daß ein Clusterobjekt entsteht, das aus unbelebten und belebten Objekten ggf. verschiedener Arten besteht. Die Objekte eines derartigen Clusterobjektes können sich darüber hinaus gegenseitig bedecken bzw. überlappend vorliegen oder gar miteinander verflochten sein, so daß zunächst eine Trennung des Clusterobjektes in die einzelnen Objekte erforderlich ist. Wie bereits erwähnt, bewegen sich einige der Objekte in der Probe, d. h. die Objekte sind ggf. orts- und formveränderlich. Eine Objektart ist darüber hinaus in verschiedenen Entwicklungsstufen anzutreffen, also in verschiedenen Größen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß zwischen den Abmaßen der kleinsten und der größten Objekte nahezu vier Größenordnungen liegen können.

Wegen der hohen Formverschiedenheit der lebenden Objekte können bei dem angestrebten Verfahren nicht alle möglichen Erscheinungsformen in einer Art Referenzdatenbank gespeichert werden, da deren Zahl astronomisch hoch ist.

Mit den bekannten Verfahren und Systemen der Bildverarbeitung ist das Erstellen einer Artenliste bisher nicht in dem gewünschten Umfang und mit der gewünschten Geschwindigkeit möglich.

So ist beispielsweise aus der DE 29 03 625 A1 eine Vorrichtung zur automatischen Blutanalyse bekannt. Diese Vorrichtung verwendet ein digitales Bild- und Mustererkennungssystem mit einer Mikroskopoptik, wobei ein Verschiebetisch und eine Fokuskontrolle zum Einsatz kommen. Die zu analysierenden Blutzellen müs-

sen hier räumlich voneinander getrennt in einer einzelligen Schicht vorliegen, wobei nur Objekte in einem bestimmten Größenbereich ausgewertet werden. Als zusätzliche Kriterien werden Form und Farbe der Objekte bestimmt.

Die Probe wird in Einzelbilder zerlegt, wobei für jedes Einzelbild anhand in sich geschlossener Umrisse die einzelnen Blutzellen lokalisiert werden. Für eine derart lokalisierte Blutzelle werden geometrische Parameter wie Rundheit, Sichelförmigkeit etc. sowie andere morphologische Parameter wie Hämoglobingehalt etc. bestimmt. Anhand dieser Parameter wird die Blutzelle einer von mehreren vorgegebenen Subpopulationen zugeordnet, wobei diese Zuordnung anhand der gemessenen und berechneten Parameter erfolgt. Für die Gesamtheit der so vermessenen Blutzellen sowie für die einzelnen Subpopulationen werden statistische Daten ermittelt, die dann mit vorgegebenen Standards verglichen werden. Aufgrund dieses Vergleiches wird dann entschieden, zu welcher Anämieart das untersuchte Blut gehört.

Dieses System hat also eine Wiederfindungserwartung bezüglich der zu sortierenden Objekte. Objekte, die in einer dem Rechner nicht vorbekannten Form vorliegen, die sich also beispielsweise zu Clustern zusammenlagert haben oder die eine nicht vorhergesehene Form angenommen haben, werden als Schmutzeffekt ausgesondert. Formveränderliche oder gar bewegliche Objekte, die sich ggf. zu größeren Clustern zusammenlagert haben, können mit dieser Vorrichtung nicht analysiert werden.

Aus der DE 33 13 789 A1 ist eine mikroskopische Untersuchungseinrichtung bekannt, bei der im Ermittlungsbetrieb kernhaltige Objekte aufgefunden und anhand einer Reihe von Merkmalen, wie beispielsweise Farbe, Größe und Struktur, klassifiziert werden. Auch mit dieser Vorrichtung können nur Objekte klassifiziert werden, für welche eine Wiederfindungserwartung vorhanden ist. Ferner müssen sich die zu untersuchenden Objekte durch wenige aus den optischen Daten ermittelbare Merkmale eindeutig identifizieren lassen.

Damit ist auch dieses Verfahren nicht geeignet, formveränderliche Objekte, die sich ggf. zu Clustern zusammenfinden können, in einer flüssigen Probe aufzufinden, zu identifizieren und zu klassifizieren.

Weiterhin ist in der DE 38 36 716 A1 ein interaktives Verfahren zur Auswertung von Zellbildern beschrieben, bei dem fachlich geschultes Personal erforderlich ist, um im Dialogbetrieb den Rechner bei der Auswertung zu führen und zu unterstützen. Damit ist dieses Verfahren mit den eingangs bereits erwähnten Nachteilen — limitierender Zeitfaktor, hohe Fehlerrate — von manuellen Verfahren behaftet.

Aus der WO 91/02330 ist ein Verfahren zum Differenzieren verschiedener Partikel bekannt. Zu diesem Zweck wird ein Bild der zu untersuchenden Probe aufgenommen, woraufhin für jedes der Partikel in diesem Bild ein erster Parameter gemessen wird, welcher die Farbe sein kann. Basierend auf diesem Parameter wird dann eine erste Partikelart anhand eines ersten Schwellwertes identifiziert, woraufhin für die identifizierten Partikel ein von dem ersten Parameter verschiedener zweiter Parameter gemessen wird, um einen zweiten inneren Schwellwert zu bestimmen. Dieser zweite Parameter kann die Partikelgröße sein. Jetzt wird der zweite Parameter für alle noch nicht identifizierten Partikel gemessen, um im Vergleich mit dem soeben bestimmten inneren Schwellwert eine Identifizierung der restlichen

Partikel durchzuführen, die nach dem Kriterium größer oder kleiner als die erste Partikelart differenziert werden. Durch das Bestimmen des inneren Schwellwerts kann der Einfluß z. B. der Alterung der Probe ausgeschlossen werden, wenn die Beziehung der Partikel zueinander bezüglich dieser Parameter bekannt ist.

Die DE 28 23 490 A1 beschreibt ein Verfahren zur Analyse von Organismus-Zellen, bei dem die zu untersuchende Probe ebenfalls optisch erfaßt wird. In einer Art Voruntersuchung mit niedriger Vergrößerung werden zunächst die Objekte markiert, die in einem bestimmten Wellenlängenbereich einen Schwellwert überschreiten. Alle anderen Partikel werden von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die markierten Zellen werden dann sowohl mit einer geringen Auflösung, in der die ganze Zelle zu sehen ist, bezüglich grober Merkmale wie Farbe, Dichte etc. als auch mit großer Auflösung bezüglich ihrer Feinstrukturen weiter analysiert. Ein Vergleich mit Referenzobjekten findet hier nicht statt, vielmehr werden die Partikel aufgrund von Grauerthistogrammen klassifiziert.

Aus der US 4 932 044 ist ein interaktives Zählverfahren bekannt, bei dem der Anwender Zellen in einem von dem diskutierten Gerät durchgescannten dreidimensionalen Bereich markiert. Das Gerät zählt dann die markierten Zellen, wobei es den Bereich schichtweise abtastet.

Aus der EP 0 136 718 A2 ist ein Mustererkennungsgerät bekannt, welches das zu identifizierende Muster mit einer Grob- und einer Feinanalyse untersucht. Der Grobvergleich dient zur Klassifizierung und damit zur Auswahl von Referenzparametern für die Feinanalyse. Die Grobanalyse schränkt also den Suchbereich ein, während die Feinanalyse zur endgültigen Identifizierung dient. Das zu untersuchende Muster wird dabei als zweidimensionales Array abgespeichert, wobei die Analyse für jedes Arrayelement einzeln erfolgt.

Aus der WO 90/10273 ist ein Verfahren zur Qualitätsprüfung von Pflanzen bekannt. Zu diesem Zweck wird zunächst eine Reihe gleicher Pflanzen in einer interaktiven Lernphase analysiert und damit eine Art Musterpflanze definiert. Die jeweils zu untersuchende Pflanze wird dann durch eine Farbklassifikation nach vorgegebenen Farbklassen segmentiert, d. h. die farblich zusammengehörenden Bereiche der Pflanze wie Blattwerk, Stiele und Blüten werden für sich genommen ausgewertet und mit den entsprechenden Daten der Musterpflanze zur Qualitätsüberprüfung verglichen. Das optisch abgespeicherte Bild der Pflanze wird dabei nicht verändert, vielmehr werden die unterschiedlich gefärbten Regionen bezüglich ihrer Fläche vermessen.

Schließlich ist in der US 4 845 765 ein Mustererkennungsverfahren für sich teilweise gegenseitig überdeckende vorbekannte Objekte beschrieben. In einer Lernphase werden die vorgegebenen Objekte so aufgearbeitet, daß unveränderbare Segmente der Umrisse sowie die Verhältnisse dieser Segmente zueinander hierarchisch bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, daß die einzelnen Objekte durch diese unveränderbaren Segmente hinreichend individualisiert sind, so daß auch bei teilweise gegenseitiger Überdeckung der Objekte diese unveränderbaren Segmente erkannt und damit die einzelnen Objekte identifiziert werden können. Ein Vergleich mit Referenzobjekten oder eine Bearbeitung des gespeicherten Bildes eines derartigen Clusters erfolgt nicht.

Aus den bereits geschilderten Gründen sind alle diese Verfahren zum automatischen Erstellen einer Artenliste

bei Proben mit den genannten Merkmalen nicht geeignet.

Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Erstellen einer Artenliste für eine flüssige Probe zu schaffen, bei dem ein schneller und hoher Datendurchsatz gewährleistet ist, wobei auch zusammenhängende Objekte identifizierbar sein sollen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Durch das automatische Identifizieren mit Hilfe einer Identifizierungseinrichtung werden Fehler weitgehend ausgeschlossen, da die Hauptfehlerquelle und der Hauptzeitfaktor in dem Identifizieren der Objekte liegt. Das neue Verfahren arbeitet darüber hinaus wesentlich schneller als das auf sich gestellte Personal. Außerdem ist es jetzt nicht mehr unbedingt erforderlich, qualifiziertes Fachpersonal einzusetzen.

Da das Verfahren in automatisierte Einzelschritte zerlegt ist, können beispielsweise erst alle Objekte lokalisiert werden, bevor die automatischen Identifizierungsprozesse ablaufen. Andererseits ist es aber auch möglich, wenn die automatische Identifizierungseinrichtung sehr schnell arbeitet, jedes lokalisierte Objekt sofort zu identifizieren.

Das Verfahren arbeitet derart, daß zunächst aus den Bilddaten Grobmerkmale der Objekte extrahiert werden, aufgrund welcher dann aus den vorhandenen Referenzobjekten eine enge Gruppe ausgewählt wird, mit der dann die zu identifizierenden Objekte verglichen werden. Es handelt sich also sozusagen um ein wissensbasiertes Verfahren.

Bei dem Verfahren wird ein Clusterobjekt, das automatisch erkannt wird, in Subobjekte zerlegt, die sukzessive mit den zur Verfügung stehenden Referenzobjekten verglichen werden.

Da die Zahl der möglichen Clusterobjekte, die sich in einer flüssigen Probe finden können, riesig groß ist, wäre es nicht möglich, alle möglichen Clusterobjekte als Referenzobjekte vorrätig zu halten. Durch das Zerlegen der Clusterobjekte in Subobjekte wird die Zahl der erforderlichen Referenzobjekte und damit die Zahl der erforderlichen Vergleiche folglich stark reduziert. Dies führt zu einem schnelleren Ablauf des Verfahrens.

Dabei bevorzugt das automatische Identifizieren die weiteren Schritte:

- Erzeugen eines modifizierten Clusterobjektes durch Vermindern des Clusterobjektes um das zu einem identifizierten Subobjekt gehörende Referenzobjekt und
- Behandeln des modifizierten Clusterobjektes wie ein lokalisiertes Objekt.

Diese Maßnahme ist insofern vorteilhaft, als bei dem Abspalten des Subobjektes nicht zwangsläufig ein vollständiges Hauptobjekt von dem Clusterobjekt abgespalten wurde. Es ist möglich, daß das abgespaltene Subobjekt nur ein Teil eines an dem Clusterobjekt hängenden Einzelobjektes ist. Durch das Auswählen des zu dem Teilobjekt gehörenden Referenzobjektes oder Hauptobjektes wird die Zahl der erforderlichen Zerlegungen eines Clusterobjektes reduziert. Das Clusterobjekt wird nämlich nicht nur um das Subobjekt, sondern um weitere Teilobjekte des zu dem identifizierten Subobjekt gehörenden Hauptobjektes oder Referenzobjektes reduziert. Das modifizierte Clusterobjekt enthält also ggf. wesentlich weniger Subobjekte, als wenn nur das zuvor angesprochene Subobjekt von dem Cluster-

objekt abgezogen worden wäre.

Ferner wird bevorzugt, wenn das automatische Erkennen des Vorliegens eines Clusterobjektes die Schritte umfaßt:

- Bestimmen einer Länge oder maximalen Ausdehnung des lokalisierten Objektes,
- Bestimmen von quer zu der Länge verlaufenden Breiten des lokalisierten Objektes und
- Beurteilung der Abweichungen der Breiten untereinander sowie der Lage der Breiten zu der Länge.

Bei diesen Maßnahmen ist von Vorteil, daß aus rein geometrischen Angaben, nämlich der Länge und den quer zu der Länge genommenen Breiten erkannt werden kann, ob ein Objekt oder ein Clusterobjekt vorliegt. Bei einem Clusterobjekt weichen nämlich die Breiten sehr stark voneinander ab, da beispielsweise lange, dünne Objekte und eher kugelförmige Objekte miteinander verbunden sind. Weiterhin liegen bei Clusterobjekten, die beliebige geometrische Formen annehmen, zumindest einige der Breiten "außerhalb" der Länge, d. h. das Clusterobjekt ist dermaßen gewunden, daß die Länge teilweise außerhalb des Umrisses des Clusterobjektes verläuft.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es bevorzugt, wenn der Schritt des Erkennens und Lokalisierens der Objekte die automatische Überführung eines Objektes in ein Teilbild und danach das automatische Detektieren von in sich geschlossenen Umrissen umfaßt.

Bei dieser Maßnahme ist von Vorteil, daß durch das Überführen eines Objektes in ein Teilbild zunächst die weiter zu verarbeitenden Daten reduziert werden, es muß nicht das gesamte Bild, sondern nur das ein oder mehrere Objekte umfassende Teilbild weiter verarbeitet werden.

Ferner ist es bevorzugt, wenn das optische Erfassen der Probe das automatische Aufnehmen von Bildfeldern unterschiedlicher Vergrößerung umfaßt, wobei von der Probe je Vergrößerung über ihr Volumen verteilte Bildfelder aufgenommen werden.

Auf diese vorteilhafte Weise kann die Probe sukzessiv mit verschiedenen Vergrößerungsfaktoren abgetastet oder gescannt werden, so daß in Abhängigkeit von der Größe der zu lokalisierenden Objekte das gesamte Volumen der Probe mit einer gewissen Anzahl von Bildfeldern vollständig erfaßt werden kann. Da dieses Abtasten automatisch erfolgt, werden die beim manuellen Durchsuchen einer flüssigen Probe häufig auftretenden Fehler — es werden bestimmte Bereiche der Probe "vergessen" — vermieden. Auch wird die Probe so mit sämtlichen erforderlichen Vergrößerungsfaktoren durchsucht. Wegen der nahezu vier Größenordnungen überstreichenden verschiedenen Größen der einzelnen Objekte führt dies zu einem hohen Datenaufkommen. Durch den automatisierten Ablauf ist sichergestellt, daß sämtliche Daten erfaßt und verarbeitet werden.

Hier sei erwähnt, daß unter "Bildfelder" eine Zusammenstellung oder Zusammenfassung von "Bilddaten" verstanden wird, die einen bestimmten Abschnitt der Probe wiedergeben. Bei "Bildfeldern" handelt es sich folglich um "zusammengehörende" Bilddaten.

Bei diesem Verfahren ist es weiterhin bevorzugt, wenn der Schritt des Lokalisierens das Zusammenfassen mehrerer Bildfelder, über die sich ein Objekt erstreckt, zu einem Überlagerungsbild umfaßt.

Durch diese vorteilhafte und einfache Maßnahme

werden Objekte, deren Größe so ist, daß sie sich über mehrere Bildfelder erstrecken, dennoch als ein Objekt lokalisiert und können in einem einzigen Vergleichsablauf einem Referenzobjekt zugeordnet werden.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es bevorzugt, wenn der Schritt des Erkennens und Lokalisierens der Objekte oder Subobjekte das Detektieren von Bereichen gleicher oder ähnlicher Echtfarbe, Echtfarbmuster oder Echtfarbbereiche umfaßt.

Diese Maßnahme ist insofern vorteilhaft, als es in den Bilddaten typische Farben für Flocken, Algen, Fäden etc. sowie für den Hintergrund gibt. Auf diese Weise können beispielsweise die immer grün erscheinenden Algen oder die jeweils gelblich zu erkennenden Flocken von dem immer andersfarbigen Hintergrund unterschieden werden.

Ferner ist es bevorzugt, wenn der Vergleich zwischen Objekt oder Suchobjekt einerseits und Referenzobjekt andererseits auf der Basis dreidimensionaler virtueller Vektorgraphik erfolgt.

Durch den quasi-optischen virtuellen Vergleich wird gegenüber dem reinen Vergleich von extrahierten Grobmerkmalen der Vorteil erzielt, daß auch Merkmale in die Identifizierung einbezogen werden können, welche sich nicht in Form von beispielsweise Algorithmen niederlegen lassen. So können die Referenzobjekte Feinststrukturen aufweisen, anhand derer ein leichtes Identifizieren der Suchobjekte möglich ist, während die Aufspaltung dieser Feinststrukturen in Merkmale, die einem binären Entscheidungsbaum zugrundeliegen würden, nicht möglich erscheint.

Es ist ferner bevorzugt, wenn der Schritt des automatischen Erkennens eines Clusterobjektes das Zerlegen des Clusterobjektes in Bereiche verschiedener Echtfarben, Echtfarbbereiche und/oder Echtfarbkontraste umfaßt.

Diese Maßnahme ist insofern von Vorteil, als sich ein Clusterobjekt immer in Bereiche verschiedener Farben und Farbkontraste aufspalten läßt. Auf diese Weise ist es möglich, aus den Bilddaten zusätzliche — physikalische Größen betreffende — Aussagen über ein Clusterobjekt zu gewinnen, die eine Zerlegung in Subobjekte ermöglichen.

Außerdem ist es bevorzugt, wenn das Clusterobjekt in Bereiche unterschiedlicher Bewegung, geometrischer Form und/oder Größe zerlegt wird.

Auch diese Kriterien ermöglichen in vorteilhafter Weise ein automatisches Erkennen von Subobjekten in einem Clusterobjekt.

Die Erfindung wird mit Hilfe der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens in einer schematischen Gesamtansicht;

Fig. 2 die Steuer- und Auswerteeinheit der Vorrichtung nach Fig. 1 in einem Prinzipschaltbild;

Fig. 3 eine mit der Vorrichtung nach Fig. 1 zu untersuchende Probe, mit schematisch angedeuteten Objekten;

Fig. 4 eine Reihe von mit der Bildaufnahmeverrichtung nach Fig. 1 aufgenommenen Bildfeldern der Probe nach Fig. 3;

Fig. 5 die Lokalisierereinrichtung aus der Steuer- und Auswerteeinheit nach Fig. 2, in einem schematisierten Blockschaltbild;

Fig. 6 in einer detaillierteren Darstellung ein Bildfeld der Probe nach Fig. 3, mit einer Reihe von Objekten;

Fig. 7 die Identifizierungseinrichtung der Steuer- und Auswerteeinheit nach Fig. 2, in einem schematisierten

Blockschaltbild;

Fig. 8 eines der Clusterobjekte aus dem Bildfeld nach Fig. 6, in einer vereinfachten Darstellung;

Fig. 9 die Clustererkennungseinrichtung der Identifizierungseinrichtung nach Fig. 7, in einem schematisierten Blockschaltbild; und

Fig. 10 die Sucheinstellung der Identifizierungseinrichtung nach Fig. 7, in einem schematisierten Blockschaltbild.

Fig. 1 zeigt eine insgesamt mit 10 bezeichnete Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste für eine zwischen einem Objektträger 11 und einem Deckglas 12 befindliche flüssige Probe 13. Die Probe 13 weist ggf. form- und/oder ortsveränderliche Objekte 14a, 14b unterschiedlicher Arten auf. Die Vorrichtung 10 und das mit ihr durchzuführende Verfahren dienen zum Erstellen einer Artenliste und somit zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe 13, die beispielsweise einer Kläranlage oder einem natürlichen Gewässer entnommen sein kann.

Zur limnologischen Untersuchung ist häufig eine gesonderte Probennahme erforderlich, um Kleinstlebewesen wie Würmer, Insekten oder Schnecken (Größenordnung mm bis cm) erfassen und untersuchen zu können. Derartige ebenfalls flüssige Proben werden nicht auf einem Objektträger gehalten, sondern in einer Petrischale oder einem Uhrglas.

Die zu untersuchenden Probenräume sind also flüssig und in der Regel optisch durchsichtig. Wegen der hohen Formveränderlichkeit der unterschiedlichen Objekte 14 einerseits und der Tatsache, daß die Objekte 14 nicht immer einzeln vorliegen, sondern sich überdecken, überlappen und miteinander verflechten können, andererseits, hat die Vorrichtung 10 gegenüber dem Objekt 14 in der konkret vorliegenden Form häufig keine Wiederfindungserwartung, es ist ihr so "nicht bekannt". Das auf der Vorrichtung 10 durchzuführende Verfahren ist daher wissenschaftsbasiert und selbstadaptierend.

Die Vorrichtung 10 weist eine Bildaufnahmeverrichtung 16 auf, zu der ein Bildaufnahmesystem 17 und eine einstellbare optische Vergrößerungseinrichtung 18 gehören. Weiterhin ist eine Vorrichtung 19 angeordnet, über welche die Probe 13 relativ zu der Vergrößerungseinrichtung 18 verfahren werden kann. Dieses Verfahren erfolgt zumindest in zwei der drei Achsen X, Y und Z eines bei 20 angedeuteten Koordinatensystems.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Vorrichtung 19 ein Kreuztisch 22, der in der X/Y-Ebene verfahren werden kann und ggf. eine Hubeinrichtung zur Veränderung seiner Z-Koordinate aufweist.

Die Vergrößerungseinrichtung 18 umfaßt ein Mikroskop 23, das verschiedene Vergrößerungsfaktoren einstellen kann. Durch entsprechendes Fokussieren des Mikroskopes 23 kann gleichfalls die Z-Ebene, welche von dem als CCD-Kamera 24 ausgebildeten Bildaufnahmesystem 17 erfaßt wird, eingestellt bzw. verändert werden.

Bei einer limnologischen Untersuchung von Kleinstlebewesen wird statt des Mikroskopes 23 eine in der Zeichnung nicht dargestellte Stereolupe verwendet, an die ebenfalls eine CCD-Kamera 24 angeschlossen ist. Je nach Größe der zu untersuchenden Objekte kann auch eine Bildaufnahmeverrichtung ohne vorgeschaltete Vergrößerungseinrichtung verwendet werden.

Weiterhin ist eine Steuer- und Auswerteeinheit 26 vorgesehen, die über eine Datenleitung 27 sowie eine Steuerleitung 28 mit der CCD-Kamera 24 verbunden ist. Auf diese Weise erfolgt eine gesteuerte Aufnahme und

Übertragung von Bilddaten in die Steuer- und Auswerteeinheit 26. Die CCD-Kamera 24 ist außerdem über eine weitere Datenleitung 29 mit einem Massenspeicher 31 verbunden, der beispielsweise ein Videorekorder ist und zur Videoarchivierung der untersuchten Probe dient. Über eine Datenleitung 32 ist der Massenspeicher 31 ebenfalls mit der Steuer- und Auswerteeinheit 26 verbunden, die somit die Bilddaten entweder direkt von der CCD-Kamera 24 oder von dem Massenspeicher 31 abfragen kann.

Über eine Verbindungsleitung 33 ist ein Datenendgerät/Terminal 34 an die Steuer- und Auswerteeinheit 26 angeschlossen, um einem Benutzer Bilddaten von der Probe 13 anzuzeigen und um ihm die Möglichkeit zu geben, in den Auswerteprozess einzugreifen.

Weiterhin sind zwei Steuerleitungen 35 und 36 gestrichelt angedeutet, über welche die Steuer- und Auswerteeinheit 26 den Kreutztisch 22 sowie das Mikroskop 23 ansteuert.

Mit der insoweit beschriebenen Vorrichtung wird die Probe 13 nacheinander in X-, Y- und Z-Richtung abgetastet (gescannt), so daß am Ende des Abtastvorganges dreidimensionale Bilddaten zur Verfügung stehen. Einige der Objekte 14 sind — wie erwähnt — beweglich, so daß durch erneutes Scannen auch zusätzlich Informationen auf der Zeitachse gewonnen werden können. Die Qualität der Bilder wird dabei wesentlich durch das Objektiv des Mikroskops 23 und durch die Auflösung/Digitalisierung des aufgenommenen Bildes bestimmt. Durch die einstellbare Vergrößerung des Mikroskops 23 können Objekte 14 unterschiedlichster Größen erfaßt werden. Die Bilddaten repräsentieren dabei Echtfarbbilder. Gleichfalls ist es möglich, die Probe 13 einer Fluoreszenzuntersuchung zu unterziehen, indem sie mit einer in Fig. 1 nicht gezeigten Lichtquelle bestrahlt wird, wobei dieses Anregungslicht durch ein entsprechendes Filter in dem Mikroskop 23 wieder herausgefiltert wird.

Die Auswertung der erfaßten Bilddaten erfolgt in der in Fig. 2 detaillierter dargestellten Steuer- und Auswerteeinheit 26. Über die Datenleitungen 27 bzw. 32 werden Bilddaten entweder direkt von der CCD-Kamera 24 oder von dem Massenspeicher 31 in einen Bilddatenspeicher 38 geladen. Über dessen Ausgangsleitung 39 gelangen die Bilddaten in eine Lokalisierereinrichtung 40, die in noch näher zu beschreibender Weise die in den Bildern enthaltenen Objekte "wahrnimmt", d. h. erkennt und lokalisiert. Die derart lokalisierten Objekte werden über eine Objektdatenleitung 41 in einen Objektdatenspeicher 42 übertragen, von dem sie über seine Ausgangsleitung 43 zu einer Identifizierungseinrichtung 44 gelangen.

Die Identifizierungseinrichtung identifiziert das in dem Objektdatenspeicher 42 anstehende lokalisierte Objekt, d. h. sie bestimmt dessen Art, indem sie das Objekt 14 einer jeweils übereinstimmenden Art in einem noch zu beschreibenden Referenzobjektspeicher als Angehörigen zuordnet. Über eine Objektausgabeleitung 45 ist die Identifizierungseinrichtung 44 mit einer Zählereinrichtung 46 verbunden, die die identifizierten Objekte zählt und über eine Übergabeleitung 47 in eine bei 48 angedeutete Artenliste einträgt.

Ferner ist in Fig. 2 eine Bewertungseinrichtung 49 angedeutet, welche unter Verwendung zielangepaßter Methoden aus Ökologie, Biologie und/oder Etologie eine automatische Bewertung oder Interpretation der in die Artenliste 48 eingetragenen Daten vornimmt. Die Bewertungseinrichtung 49 liefert aufgrund der Interpretation der Artenliste 48 Aussagen über den ökologi-

schen Zustand und ggf. eine Prognose über die Entwicklung der untersuchten Probe 13.

Die insoweit beschriebene Vorrichtung 10 und das auf ihr durchzuführende Verfahren sollen jetzt anhand der Fig. 3 bis 10 näher erläutert werden:

In Fig. 3 ist die Probe 13 aus Fig. 1 in vergrößertem Maßstab dargestellt. Durch gedachte Trennlinien 50 ist die Probe 13 in ein Raster von Bildfeldern 51 unterteilt, die nacheinander von der Bildaufnahmevorrichtung 16 aus Fig. 1 abgetastet werden. Zu diesem Zweck wird der Kreutztisch 22 an eine bestimmte X/Y-Koordinate gefahren und dann werden nacheinander in Z-Richtung übereinanderliegende Bildfelder 51 eines Stapels 52 von der CCD-Kamera 24 erfaßt, digitalisiert und als Bilddaten auf die Datenleitungen 27, 29 gegeben. Die Größe der einzelnen Bildfelder 51 richtet sich nach dem Vergrößerungsfaktor, auf den das Mikroskop 23 eingestellt ist. Der Abstand zwischen zwei übereinanderliegenden Bildfeldern 51a, 51d wird bestimmt durch die Schärfentiefe des Mikroskops; je geringer dessen Schärfentiefe nämlich ist, desto mehr Bildfelder 51 in einem Stapel 52 müssen erfaßt werden, um die ganze Dicke der Probe 13 durchzumustern.

Wenn auf diese Weise ein Stapel 52 "abgearbeitet" wurde, verfährt der Kreutztisch 22 entweder in X- oder in Y-Richtung um die Breite/Länge eines Bildfeldes, und das sukzessive Verfahren in Z-Richtung beginnt von neuem. Auf diese Weise wird die Probe 13 sozusagen mäanderförmig abgetastet. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Bildfelder 51 in verschiedenen Z-Ebenen nicht in Form eines Stapels 52 anzuordnen, sondern jeweils um einen kleinen Betrag gegeneinander zu versetzen, so daß über alles gesehen eine Zick-Zack-Verfahrslinie entsteht. Gegenüber dem mäanderförmigen Scannen müssen dann weniger Verfahrensschritte unternommen werden, um die gesamte Probe 13 abzutasten.

Selbstverständlich wird eine Probe 13 für unterschiedliche Vergrößerungsfaktoren des Mikroskops 23 jeweils erneut abgetastet. Auf diese Weise werden zunächst die großen Objekte 14 mit geringem Vergrößerungsfaktor und dann mit steigender Vergrößerung immer kleinere Objekte 14 erkannt, lokalisiert und identifiziert werden, so daß sie in die Artenliste 48 eingetragen werden können.

In Fig. 3 ist zu erkennen, daß die Objekte 14 beliebige Lagen im Raum einnehmen können, so daß sie sich über mehrere Bildfelder 51 erstrecken können.

Wie in Fig. 4 zu sehen ist, erzeugt ein Objekt 14, das sich in einem Stapel 52 über mehrere übereinanderliegende Bildfelder 51c, 51d und 51e erstreckt, in jedem Bildfeld 51 ein anderes Muster 14', 14'' bzw. 14'''. Um das Objekt 14 identifizieren zu können, ist es zunächst erforderlich, zu entscheiden, über wieviele Bildfelder 51 sich ein Objekt 14 erstreckt. In dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel erstreckt sich das Objekt 14 über die Bildfelder 51c—51e. Bedingt durch die Schärfentiefe des Mikroskops 23 sind jeweils bestimmte Abschnitte des Objektes 14 in der Ebene des Bildfeldes 51 scharf abgebildet, wie dies in Fig. 4 mittels durchgezogener Linien angedeutet ist, während andere Abschnitte des Objektes 14 lediglich verschwommen zu sehen sind. Dies ist in Fig. 4 durch gestrichelte Linien angedeutet.

Um die einzelnen Bildfelder lagerichtig übereinander legen zu können, müssen die Bildfelder 51 zunächst ggf. gedreht und in X-, Y- und/oder Z-Richtung verschoben werden, um die Bewegung des jeweils betrachteten Objektes 14 zu berücksichtigen. Um zu erkennen, ob es sich in verschiedenen Bildfeldern 51a, 51e um ein Objekt 14

handelt, das sich zwischen den Aufnahmen der aufeinanderfolgenden Bildfelder 51 weiter bewegt hat, oder ob verschiedene Objekte 14, 14b betrachtet werden, können zusätzlich Informationen herangezogen werden, die aus Bilddaten stammen, die mit einem geringeren Vergrößerungsfaktor des Bildaufnahmesystems gewonnen wurden. Bei einem geringeren Vergrößerungsfaktor, also bei anderer Schärfentiefe, läßt sich nämlich leichter unterscheiden, ob es sich um zwei übereinanderliegende Objekte 14b, 14 oder um ein einziges, sich bewegendes Objekt 14 handelt. Bei dieser Überlagerung der einzelnen Bildfelder 51 fällt sozusagen nebenbei bereits eine Information darüber ab, ob es sich um ein sich bewegendes Objekt 14 handelt.

Da zwischen den einzelnen Aufnahmen der Bilder 51c—51e eine gewisse Zeitspanne vergeht, kann sich das Objekt 14 unterdessen bewegt haben, was jedoch anhand der Abweichung zwischen scharfen Konturen und verwischten Konturen in unterschiedlichen Z-Ebenen erkannt und ausgeglichen werden kann. Bei 53b ist ein weiteres Stapelbild des Objektes 14b angedeutet.

Legt man die einzelnen Bildfelder 51c—51e also lage-richtig übereinander, so gelangt man zu einem Stapelbild 53, das eine Art Höhenlinienbild 54 des Objektes 14 wiedergibt. Durch dieses Stapelbild 53 liegen die Objekte 14 jetzt in Form von dreidimensionalen Bilddaten vor, so daß sie in der Lokalisierereinrichtung 40 erkannt und in der automatischen Identifizierungseinrichtung 44 identifiziert werden können. Dazu werden sie als Vektorgraphikobjekte abgelegt.

Selbstverständlich erstrecken sich die Objekte nicht nur in Z-Richtung durch mehrere Bildfelder 51 hindurch, es ist durchaus möglich, in gleicher Weise, wie in Fig. 4 für die Z-Richtung gezeigt, auch in X- und/oder Y-Richtung eine derartige Erkennung eines Objektes 14 durchzuführen.

In Fig. 5 ist die zuständige Lokalisierereinrichtung 40 detaillierter dargestellt. Die nacheinander auf der Ausgangsleitung 39 anstehenden Daten der einzelnen Bildfelder 51 gelangen zunächst in einen Umrißdetektor 56, der die Bilddaten nach in sich geschlossenen Umrissen und/oder Bereichen gleicher Farbe durchsucht, und so zu den scharfen (durchgezogenen) Konturen in den Bildfeldern 51a—51b aus Fig. 4 kommt. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, daß die Objekte 14 immer andersfarbig sind als der Hintergrund, diese sich also nicht nur durch den Kontrast sondern auch durch die Farbgebung von dem Hintergrund unterscheiden. Außerdem erkennt der Umrißdetektor 56 die verschwommenen Konturen der Objekte 14.

Der Umrißdetektor 56 legt zu diesem Zweck wie folgt ein Overlay-Fenster über die jeweiligen Objekte: Zunächst wird Punkt für Punkt eines jeden Bildfeldes 51 daraufhin abgefragt, ob seine Echtfarbe zu dem Hintergrundfarbbereich gehört, oder sich von diesem abhebt. Ist ein Bildpunkt (Pixel) gefunden, der nicht zum Hintergrund gehört, damit also Teil eines Objektes 14 ist, so wird dieser Punkt von einem virtuellen viereckigen Fenster überdeckt. Die Kanten des Fensters werden jetzt solange iterativ in alle vier Koordinatenrichtungen voneinander weggerichtet verschoben, bis die Kanten nur noch über Pixel liegen, die dem Hintergrundfarbbereich zuzuordnen sind. Da das Ausgangspixel ein Objekt-Pixel war, ist auf diese Weise sichergestellt, daß in dem so erzeugten Overlay-Fenster zumindest ein Objekt eingegrenzt ist.

Das so eingegrenzte Objekt 14 wird in ein Teilbild umkopiert, so daß die weiterhin zu bearbeitenden Daten

deutlich reduziert worden sind. Nach dem Umkopieren wird das so in dem Original-Bilddatensatz erkannte Objekt (die Objekte) dadurch "gelöscht", daß die erkannten Objekt-Pixel in Hintergrund-Pixel umgewandelt werden. In den Original-Bilddaten sind somit nur noch "nicht wahrgenommene" Objekte enthalten, die auf gleiche Weise erkannt und umkopiert werden.

Während des Verschiebens der Overlay-Fensterkanten hat der Umrißdetektor 56 gleichzeitig jedes Objekt-Pixel als ein solches markiert und zusätzlich auf folgende Weise Pixel erkannt, die zum Umriß des jeweiligen Objektes 14 gehören: Jedes Pixel, das zumindest an einer seiner vier Seiten an ein Pixel mit Hintergrundfarbe grenzt, "gehört" zum Umriß des Objektes, während allseitig von Objekt-Pixeln umgebene Pixel "im Inneren" des Objektes liegen. Wegen des soeben beschriebenen Verfahrens ist außerdem gewährleistet, daß jede Kante des Overlay-Fensters zumindest an einer Stelle an das umschlossene Objekt angrenzt.

Nachdem die einzelnen Objekte in den unterschiedlichen Bildfeldern 51 so erkannt worden sind, gelangen die reduzierten Daten in einen Stapelbildüberlagerer 57, der die einzelnen Bildfelder 51 — wie anhand von Fig. 4 bereits beschrieben — so übereinander legt, daß die verschwommenen und die scharfen Konturen unterschiedlicher Bildfelder 51 übereinstimmen. Die derart zueinander ausgerichteten einzelnen Stapelbilder 51a—51e werden in dem Objektlokalisierer 58 als dreidimensionale Vektorgraphikdarstellungen abgelegt. Die Daten gelangen von hier in einen Bewegungsdetektor 59, der anhand der um zu einem Objekt 14 zu gelangenden erforderlich gewesen Verschiebung der einzelnen Bildfelder 51 ermittelt, ob es sich um ein sich bewegendes Objekt handelt. Über die Ausgangsleitungen 60 und 61 werden die Daten des Stapelbildes 53 sowie die Bewegungsinformation einer Verknüpfungsschaltung 62 zugeführt, die diese Daten über die Objektdatenleitung 41 in den Objektdatenspeicher 42 gibt.

In Fig. 6 ist ausschnittsweise die Projektion eines von der Lokalisierereinrichtung 40 erzeugten Stapelbildes 53 dargestellt, wie es typischerweise für eine Probe 13 eines Belebtschlammes gefunden wird. Das Stapelbild 53 gibt eine kleine Flocke 64, eine Protozoe 65 sowie eine Fadenbakterie 66 mit zusätzlichem bakteriellem Aufwuchs 67 wieder. Weiterhin ist eine große Flocke 68 zu erkennen, an der eine weitere Fadenbakterie 69 sitzt. Ferner weist Fig. 6 eine Kolonie von drei Glockentierchen 70a, 70b, 70c auf, die einen gemeinsamen Stiel 71 haben, der mit seinem Fußpunkt 72 an der großen Flocke 68 sitzt. Während die Objekte 64 und 65 Einzelobjekte sind, die in der Identifizierungseinrichtung 44 problemlos identifiziert werden können, stellen die Objekte 66, 67 sowie 68, 69, 70, 71 ein Clusterobjekt 73a, 73 dar. Die Zahl der möglichen Clusterobjekte ist so astronomisch hoch, daß es nicht möglich ist, für diese Clusterobjekte Referenzdatenobjekte zu erzeugen. Die Identifizierungseinrichtung 44 muß daher jedes beliebige Clusterobjekt 73 so weiterverarbeiten können, daß es mit einer begrenzten Anzahl von vorgegebenen Referenzdaten eindeutig identifiziert werden kann. Hier ist noch zu bedenken, daß die Teilobjekte eines Clusterobjektes 73 sich zumindest teilweise gegenseitig überdecken bzw. überlappen können und ggf. auch miteinander verflochten sind.

In Fig. 7 ist gezeigt, daß die Identifizierungseinrichtung 44 aus diesem Grunde eine Clusterzerlegungseinrichtung 74 sowie eine Objekterkennungseinrichtung 75 aufweist. Die Daten eines lokalisierten Objektes gelan-

gen über die Ausgangsleitung 43 in eine Clustererkennungseinrichtung 76, die jedes neu anstehende Objekt daraufhin überprüft, ob es ein Einzelobjekt oder ein Clusterobjekt 73 ist. Wie dies geschieht, wird noch erläutert.

Handelt es sich bei dem auf der Ausgangsleitung 43 anstehenden Objekt um ein Einzelobjekt, so überträgt die Clustererkennungseinrichtung 76 die Daten über seine Ausgangsleitung 77 in einen Vergleichsspeicher 78 der Objekterkennungseinrichtung 75. Handelt es sich dagegen um ein Clusterobjekt 73, so werden die Daten von der Clustererkennungseinrichtung 76 über seine Ausgangsleitung 79 in einen Clusterspeicher 80 geladen. Von dem Clusterspeicher 80 gelangen die Daten über eine Clusterdatenleitung 81 in eine Subobjekterkennungseinrichtung 82, die ein Clusterobjekt 73 in eine Reihe von Subobjekten zerlegt. Diese Zerlegung in Subobjekte erfolgt anhand weiterer Daten, die beispielsweise Aussagen über die geometrische Form bestimmter Bereiche des Clusters machen. Weiterhin werden die Farben der Clusterbereiche und/oder die unterschiedlichen Kontraste dazu herangezogen, das in Fig. 6 gezeigte Clusterobjekt 73 in einzelne Subobjekte zu zerlegen. Zurückkehrend zu Fig. 6 ist zu erkennen, daß beispielsweise die Glockentierchen 70 und ihre Stiele 71 unterschiedlich schraffiert sind, wodurch eine unterschiedliche Farbe angedeutet ist. Die Subobjekterkennungseinrichtung 82 spaltet jetzt beispielsweise das Glockentierchen 70a von dem Cluster 73 ab und übermittelt die Daten des Glockentierchens 70a über eine Subobjekt-Datenleitung 83 in den Vergleichsspeicher 78.

Der Vergleichsspeicher 78 enthält jetzt entweder die Daten eines Einzelobjektes 14 oder die Daten eines Subobjektes. Diese als "Suchobjekt" bezeichneten Daten gelangen über eine Suchobjekt-Datenleitung 84 in eine Sucheinrichtung 85, die ihrerseits über eine Referenzobjekt-Datenleitung 86 mit einem Referenzdatenspeicher 87 in Verbindung steht. In dem Referenzdatenspeicher 87 sind in vektorieller, dreidimensionaler Darstellung sämtliche Objekte 14 enthalten, die in einer Probe 13 auftreten können.

Da viele der Objekte 14 formveränderlich sind, also beispielsweise eine andere geometrische Gestalt aufweisen, wenn sie ruhen oder sich bewegen, muß dies bei den Referenzobjektdaten berücksichtigt werden. Die Zahl der möglichen Formen, die ein einziges bewegliches Objekt 14 annehmen kann, ist jedoch so groß, daß diese nicht sämtlich vorhergesehen und abgespeichert werden können. Aus diesem Grunde erfolgt der Aufbau des Referenzdatenspeichers 87 derart, daß die Referenzobjekte in einer oder mehreren geometrischen Grundformen abgelegt werden. Zusätzlich zu dieser Grundform sind Freiheitsgrade abgespeichert, die die möglichen und zulässigen Bewegungen und Formveränderungen des jeweiligen Objektes berücksichtigen. Beim Vergleich zwischen dem Suchobjekt und den verschiedenen Referenzobjekten werden jetzt die Referenzobjekte im Hinblick auf das Suchobjekt solange verändert (im Rahmen ihrer zulässigen Freiheitsgrade) bis sie entweder zu dem Suchobjekt "passen", oder aber bis sich ergibt, daß keine Übereinstimmung zu erzielen ist. Dieser Vergleich ist ein virtuell-optischer Vorgang, bei dem aufgrund eines wissensbasierten Verfahrens (die zulässigen Freiheitsgrade eines Referenzobjektes sind abgespeichert) die Vektorgraphikdarstellung eines Objektes/Subobjektes mit einer zweidimensionalen Projektion eines virtuellen dreidimensionalen Vektor-

flächengraphikmodells des jeweils zu vergleichenden Referenzobjektes verglichen wird.

Die Sucheinrichtung 85 vergleicht also jetzt die Daten, die auf der Suchobjekt-Datenleitung 84 anstehen, mit den vorhandenen Daten des Referenzdatenspeichers 87, bis das mit dem Suchobjekt übereinstimmende Referenzobjekt gefunden ist. Bei der Abspaltung in der Subobjekterkennungseinrichtung 82 kann es nun vorkommen, daß kein ganzes Objekt 14 von dem Cluster 73 abgespalten wird, sondern nur ein Teilobjekt. In dem Beispiel der Fig. 6 wird nicht ein aus Stiel 71a und Glockenteil 70a bestehendes Glockentierchen abgespalten, sondern nur das Teilobjekt 70a.

In dem Referenzdatenspeicher 87 findet sich jedoch zu dem Teilobjekt 70a ein Hauptobjekt 14, bestehend aus Teilobjekt 70a und Teilobjekt 71a. Dieses Hauptobjekt wird jetzt über eine Hauptobjekt-Datenleitung 88 an einen virtuell-optisch arbeitenden Differenzbildner 89 gegeben, der über eine Leitung 90 ebenfalls mit dem Clusterspeicher 80 in Verbindung steht. Die Differenzbildnereinheit 89 modifiziert jetzt das ursprünglich in dem Clusterspeicher 80 befindliche Clusterobjekt derart, daß es um das bereits erkannte Hauptobjekt reduziert wird.

Das modifizierte Clusterobjekt gelangt über die Leitung 91 zurück in die Clustererkennungseinrichtung 76, wo die nun anstehenden Bilddaten entweder erneut als Cluster erkannt werden und in den Clusterspeicher 80 eingeschrieben werden oder aber als Einzelobjekt erkannt werden und somit unmittelbar in den Vergleichsspeicher 78 gegeben werden.

Selbstverständlich wird jedes erkannte Hauptobjekt über die Objektausgabelitung 45 an die Zähleinrichtung 46 gemeldet.

Hier sei erwähnt, daß die in dem Referenzdatenspeicher 87 vorhandenen Referenzobjekte von Fall zu Fall um weitere neu auftretende oder neu zu bestimmende Objekte erweitert werden, die Vorrichtung 10 ist also selbstadaptierend.

Anhand von Fig. 8 wird jetzt beschrieben, nach welchen Kriterien die Clustererkennungseinrichtung 76 ermittelt, ob es sich bei den auf der Ausgangsleitung 43 anstehenden Daten um ein einzelnes Objekt 14 oder um ein Clusterobjekt 73 handelt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in Fig. 8 die Glockentierchen 70b und 70c aus Fig. 6 weggelassen. Die Farben und der Kontrast der einzelnen Elemente des Clusters 73' aus Fig. 8 spielen in diesem Beispiel für die Erkennung, ob es sich um ein Cluster handelt, ebenfalls keine Rolle. Das Clusterobjekt 73 ist in Fig. 8 lediglich durch seinen bei 92 angedeuteten Umriß repräsentiert. Dieser Umriß des Clusterobjektes 73 wurde bereits mit Hilfe des Umrißdetektors 56 — siehe Fig. 5 — ermittelt.

Die Clustererkennungseinrichtung 76 legt jetzt einen Umkreis um das Clusterobjekt und bestimmt so seine bei 93 angedeutete Länge, seine maximale Ausdehnung in der X/Y-Ebene. Dies geschieht beispielsweise, indem zwischen sämtlichen Koordinatenpaaren (X/Y) der Abstand bestimmt wird und dann der maximale Abstand als Länge 93 in die Bilddaten aufgenommen wird.

Als nächstes wird die Breite des Clusterobjektes 73 bzw. des Objektes 14 senkrecht zu der Länge 93 bestimmt. Dies geschieht ebenfalls durch eine Abstandsbestimmung zwischen den entsprechenden Koordinaten, einige Breiten sind bei 94a, 94b in Fig. 8 angedeutet. Es ist zu erkennen, daß das Clusterobjekt 73 teilweise Breiten 94c aufweist, die keinen Schnittpunkt mit der Länge

93 aufweisen. Dies ist ein Indiz für eine unregelmäßige Form des Objektes 14 bzw. des Clusterobjektes 73. Nach jeweils festzulegenden Kriterien ermittelt die Clustererkennungseinrichtung 76 aus der Variation der verschiedenen Breiten 94a–94c sowie aus der Tatsache, wie oft die Länge 93 "außerhalb" des Objektes 14 bzw. des Clusterobjektes 73 liegt, ob es sich bei dem vorliegenden Datensatz um ein Clusterobjekt 73 handelt.

Die Clustererkennungseinrichtung 76 ist in Fig. 9 detaillierter dargestellt. Die auf der Ausgangsleitung 43 anstehenden Objektdaten eines lokalisierten Objektes werden über eine innere Datenverzweigung 95 einzelnen Baugruppen der Clustererkennungseinrichtung 76 zugeführt. Über einen Umschalter 96 wird dabei entweder die Ausgangsleitung 43, die von dem Objektdatenspeicher 42 kommt, oder die Leitung 91, die Informationen eines modifizierten Clusterobjektes 73 enthält, auf die innere Datenverzweigung 95 geschaltet.

Diese Daten gelangen in eine Vorrichtung 97 zur Längenbestimmung, eine Vorrichtung 98 zur Breitenbestimmung und eine Qualifizierungseinrichtung 99, die z. B. aus dem Verhältnis Länge zu Breite ermittelt, ob es sich bei dem zu bewertenden Objekt 14 um ein einzelnes Objekt 14 oder um ein Clusterobjekt 73 handelt. Die Funktionsweise der Vorrichtungen 97, 98 und der Qualifizierungseinrichtung 99 wurde bereits anhand von Fig. 8 erläutert.

Die Qualifizierungseinrichtung 99 gibt die anstehenden Daten entweder auf die Ausgangsleitung 77, wenn es sich um ein einzelnes Objekt 14 handelt, oder auf die Ausgangsleitung 79, wenn es sich um ein Clusterobjekt 73 handelt.

Die Clustererkennungseinrichtung 76 weist weiterhin eine Vorrichtung 100 auf, die anhand von Bewegungsvorgängen in Teilbereichen eines Clusters und/oder von zusammenhängenden Bereichen gleicher Echtfarben erkennt, ob das lokalisierte Objekt 14 ein Clusterobjekt 73 ist.

Als letztes soll erläutert werden, wie die Sucheinrichtung 85 die auf der Suchobjekt-Datenleitung 84 anstehenden Suchobjekte mit den auf der Referenzdatenleitung 86 zugänglichen Referenzdaten des Referenzdatenspeichers 87 vergleicht. Dies geschieht anhand von Fig. 10.

Die Sucheinrichtung 85 weist zu diesem Zweck eine virtuelloptisch arbeitende Vergleichereinrichtung 101 auf, die nacheinander die zur Verfügung stehenden Daten des Referenzdatenspeichers 87 abfragt und mit den Suchobjektdaten auf der Suchobjekt-Datenleitung 84 vergleicht. Damit nicht bei jedem Suchobjekt sämtliche Referenzobjekte durchgemustert werden müssen, umfaßt die Sucheinrichtung 85 beispielsweise vier Bewertungseinheiten 102, 103, 104 und 105, welche die Suchobjekte nach Farbe, Bewegung, Größe und geometrischer Form bzw. Formveränderlichkeit qualifizieren. Diese Informationen führen zu Entscheidungskriterien, die es der Vergleichereinrichtung 101 ermöglichen, nur einen kleinen Satz der gesamten zur Verfügung stehenden Referenzobjekte tatsächlich mit dem jeweiligen Suchobjekt zu vergleichen.

Ist das Suchobjekt beispielsweise in seiner längsten Ausdehnung kleiner als zwei μm , werden nur die in dem Referenzdatenspeicher 87 gespeicherten Bakterien mit dem Suchobjekt verglichen. Hat das Suchobjekt dagegen eine ausgefallene, seltene Farbgebung, so werden nur die mit dem entsprechenden Farbcode identifizierten Referenzobjekte mit dem Suchobjekt verglichen. Entsprechende Überlegungen lassen sich auch für Be-

wegung und geometrische Form anstellen.

Je nachdem, welches der hier beispielhaft angeführten vier Kriterien Farbe, Bewegung, Größe und geometrische Form sich als am relevantesten erweist, durchsucht die Vergleichereinrichtung 101 bestimmte Bereiche des Referenzdatenspeichers 87. Auf diese Weise läßt sich eine sehr viel schnellere Identifizierung des Objektes und in rekursiver Weise damit eines Clusters 73 durchführen.

Die Bewertungseinrichtungen 102–105 stellen sozusagen einen Merkmalsatzvergleich dar, welcher aufgrund von aus den Bilddaten extrahierter Merkmalen eine Art morphologische Klassifizierung der Objekte durchführt. Wegen der hohen Formverschiedenheit der einzelnen Objekte ein- und derselben Art ist eine derartige morphologische Klassifizierung aufgrund von Grobmerkmalen jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad möglich. Danach erfolgt – wie bereits oben beschrieben – in der Vergleichereinrichtung 101 ein quasi-visueller Vergleich, ein Vergleich auf der Basis virtueller dreidimensionaler Vektorgraphik. Dabei werden die Vektoren von Such- und Referenzobjekt hinsichtlich Betrag (Länge) und Raumwinkel (Orientierung im Raum) miteinander verglichen. Die Referenzobjekte sind dabei formveränderlich angelegt, sie werden also im Hinblick auf das jeweilige Suchobjekt solange verändert, bis sie "passen". Auf diese Weise können alle nicht ohne weiteres beschreibbaren Merkmale dennoch berücksichtigt werden, da sie in der feinstspezifischen Struktur des Referenzobjektes implementiert sind. Eine vollständige Objektidentifizierung anhand beschreibender Merkmale ist auch deshalb nicht möglich, weil sich die unterschiedlichen Arten zum Teil durch Merkmalsätze voneinander unterscheiden, die nur schwer in Algorithmen, sei es auf Hardware- oder auf Software-Ebene, erfassen lassen.

Ist das Suchobjekt als Teil eines Hauptobjektes erkannt worden, so wird das entsprechende Hauptobjekt von der Vergleichereinrichtung 101 in einen Hauptobjektspeicher 106 geladen, der über die Hauptobjekt-Datenleitung 88 mit dem Differenzbildner 89 in Verbindung steht.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß die in den Fig. 2, 4, 5, 7, 9 und 10 angedeuteten Baugruppen in beliebiger Kombination ganz oder auch zum Teil entweder durch reine Hardware-Schaltungen/Mikroprogrammsteuerwerke, Rechenschaltungen oder programmgesteuerte Datenverarbeitungseinheiten realisiert sein können. Weiterhin ist es selbstverständlich, daß die einzelnen Speicher entweder getrennte Speicher sein können oder aber teilweise überlappende Bereiche eines einzigen Speichers sein können.

Patentansprüche

1. Automatisches Verfahren zum Erstellen einer Liste (48) unterschiedlicher Arten für eine flüssige Probe (13) mit Objekten (14), die form- und/oder ortsveränderlich sein können und sich z.T. gegenseitig überdeckend oder überlappen, zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe (13), wobei die Probe (13) zumindest zweidimensional als Folge von Bilddaten optisch erfaßt und die Bilddaten abgespeichert werden und wobei daraufhin folgende Schritte automatisch durchgeführt werden:

– Erkennen des Vorhandenseins der Objekte (14) und Lokalisieren der Objekte (14) in den

erfaßten Bilddaten mittels einer Lokalisierereinrichtung (40),

— Identifizieren der lokalisierten Objekte (14) mittels einer Identifizierungseinrichtung (44), die eine Clusterzerlegungseinrichtung (74) und eine Objekterkennungseinrichtung (75) umfaßt, wobei

— in der Clusterzerlegungseinrichtung (74) ein automatisches Erkennen des Vorliegens eines aus mehreren zusammenhängenden Objekten (14) bestehenden Clusterobjektes (73) mittels einer Clustererkennungseinrichtung (76) und ein automatisches Abspalten eines Subobjektes von dem Clusterobjekt (73) mittels einer Differenzbildnereinheit (89) erfolgt, und wobei

— in der Objekterkennungseinrichtung (75) die Daten der Objekte (14) und/oder Subobjekte mittels einer Sucheinrichtung (85) mit Daten von Referenzobjekten verglichen und dadurch identifiziert werden,

— wobei der Vergleich so erfolgt, daß aus den Bilddaten zu identifizierender Objekte (14) oder Subobjekte durch zumindest eine Bewertungseinheit (102, 103, 104, 105) zumindest ein

Grobmerkmal ermittelt wird, aufgrund dessen dann aus den vorhandenen Referenzobjekten nur eine bestimmte Gruppe von Referenzobjekten zum Vergleich ausgewählt wird, der mittels Vektorgraphik durchgeführt wird,

— Zählen der identifizierten Objekte (14) nach den unterschiedlichen Arten und

— Eintragen der gezählten Objekte (14) in die Liste (48) unterschiedlicher Arten.

2. Verfahren nach Anspruch 1 mit den weiteren Schritten:

— Erzeugen eines modifizierten Clusterobjektes (73) durch Vermindern des Clusterobjektes (73) um das zu einem identifizierenden Subobjekt gehörende Referenzobjekt und

— Behandeln des modifizierten Clusterobjektes (73) wie ein lokalisiertes Objekt (14).

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das automatische Erkennen des Vorliegens eines Clusterobjektes (73) die Schritte umfaßt:

— Bestimmen einer Länge (93) oder maximalen Ausdehnung des lokalisierten Objektes (14),

— Bestimmen von quer zu der Länge (93) verlaufenden Breiten (94) des lokalisierten Objektes (14) und

— Bewerten der Abweichungen der Breiten (94a, 94b, 94c) untereinander sowie der Lage der Breiten (94) zu der Länge (93).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Schritt des Erkennens und Lokalisierens der Objekte (14) die automatische Überführung eines Objektes (14) in ein Teilbild und danach das automatische Detektieren von in sich geschlossenen Umrissen (92) umfaßt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das optische Erfassen der Probe (13) das automatische Aufnehmen von Bildfeldern (51) unterschiedlicher Vergrößerung umfaßt, wobei von der Probe (13) je Vergrößerung über ihr Volumen verteilte Bildfelder (51) aufgenommen werden.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 4 und 5, wobei der Schritt des Lokalisierens das Zusammenfassen mehrerer Bildfelder (51), über die sich ein Objekt

(14) erstreckt, zu einem Überlagerungsbild (53) umfaßt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Schritt des Lokalisierens der Objekte (14) oder Subobjekte das Detektieren von Bereichen gleicher oder ähnlicher Echtfarbe, Echtfarbmuster oder Echtfarbbereiche umfaßt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Vergleich zwischen Objekt (14) oder Subobjekt einerseits und Referenzobjekt andererseits auf der Basis dreidimensionaler virtueller Vektorgraphik erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Clusterobjekt (73) in Bereiche unterschiedlicher Bewegung, geometrischer Form und Größe zerlegt wird.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

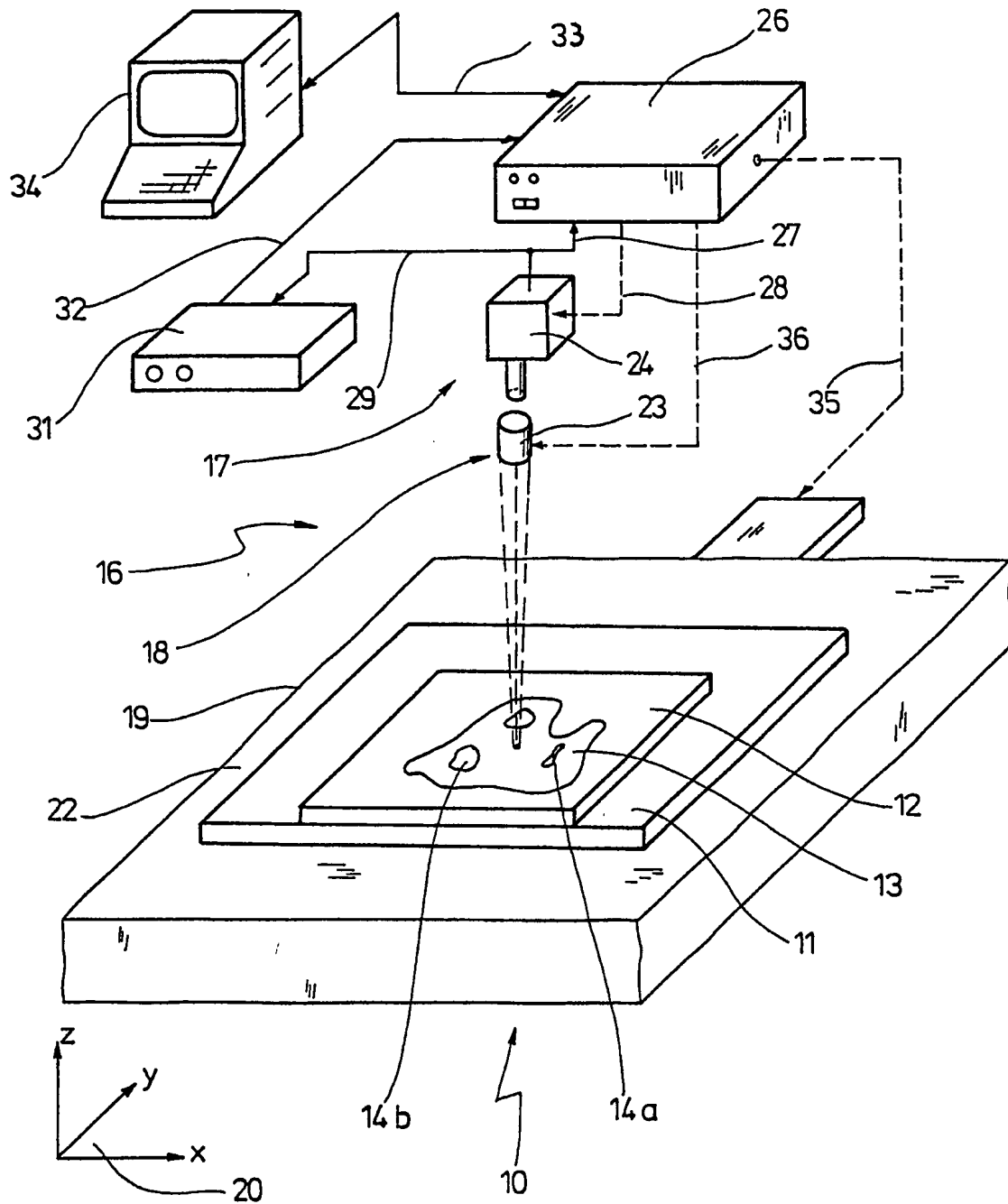


Fig. 1

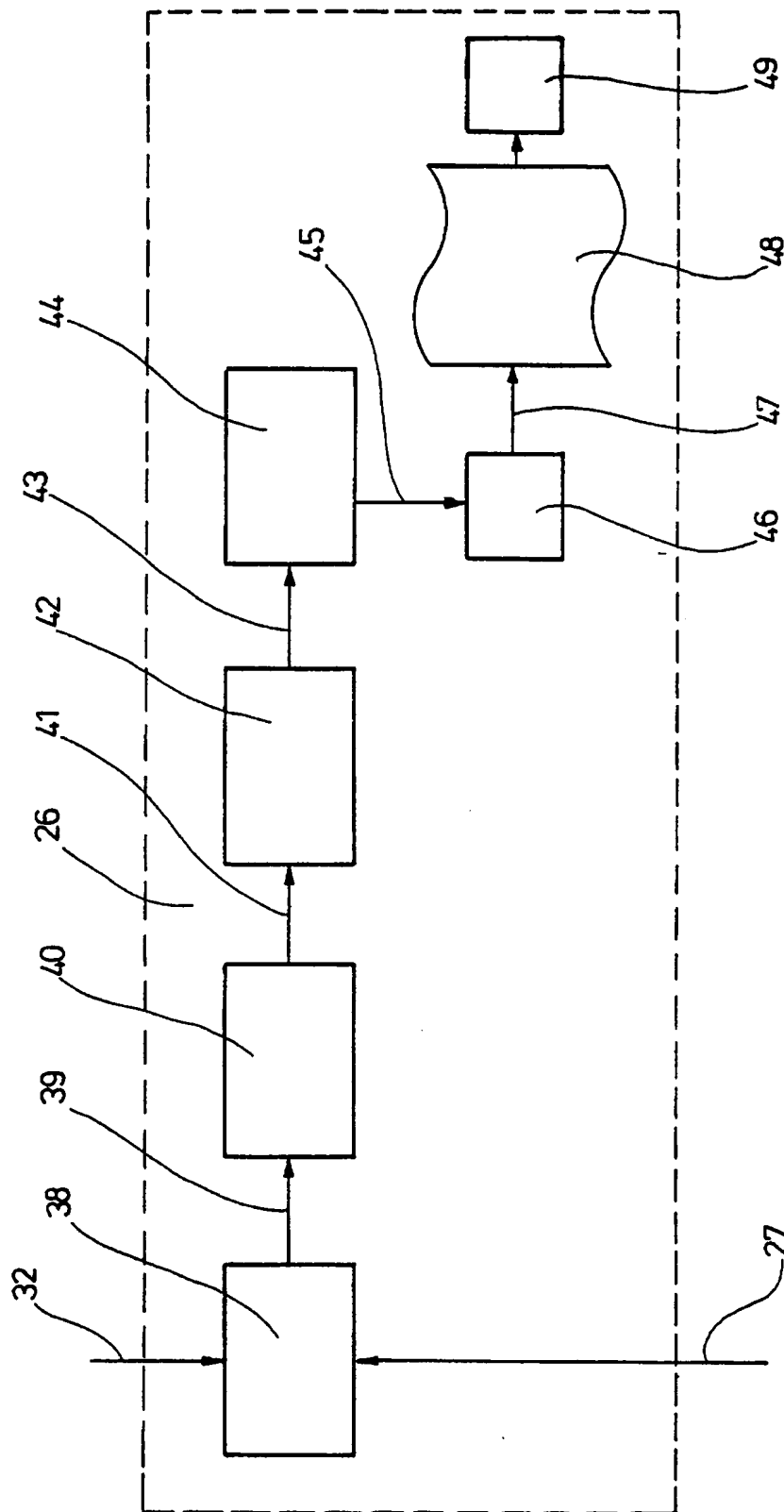


Fig. 2

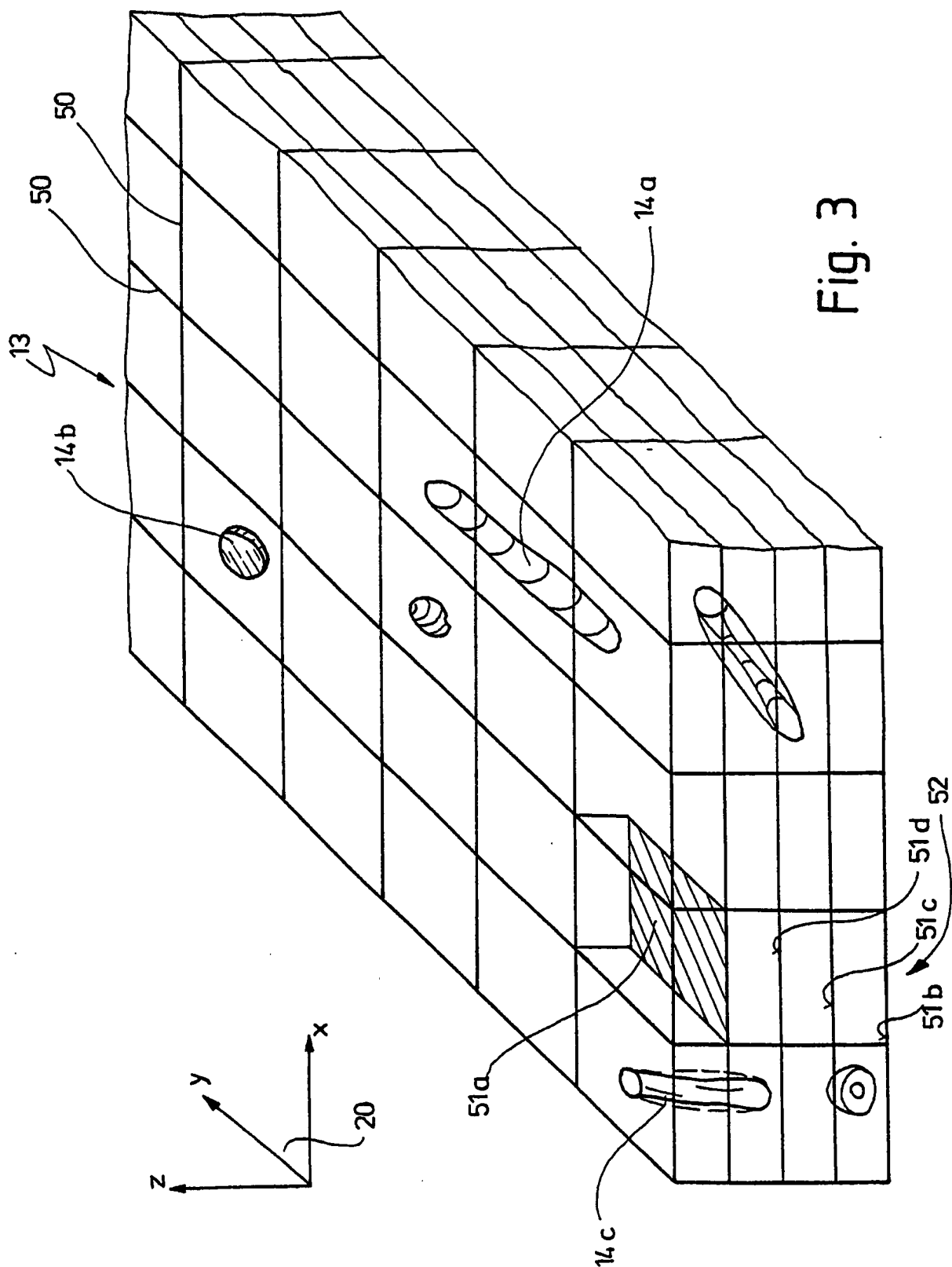


Fig. 3

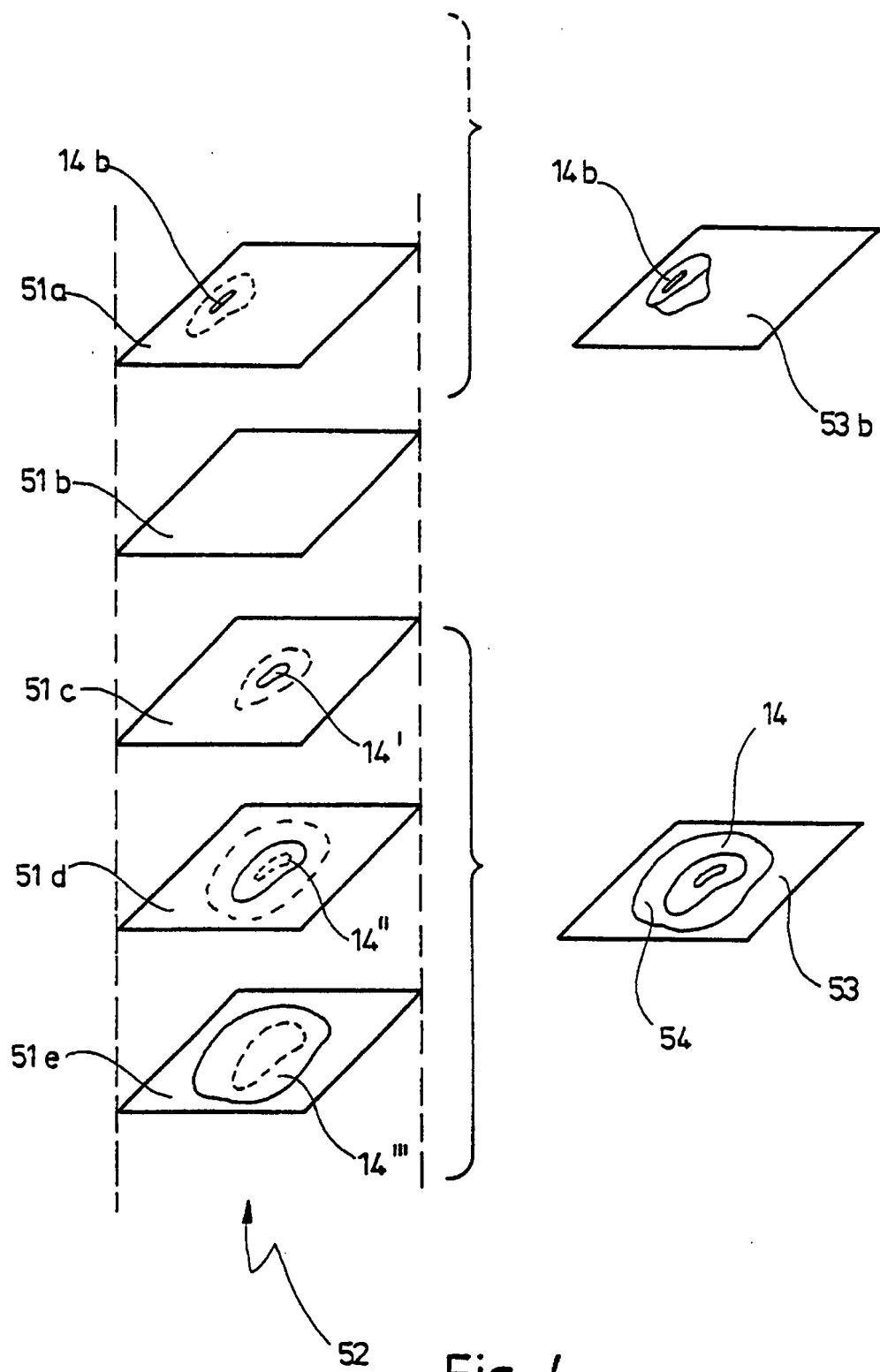


Fig. 4

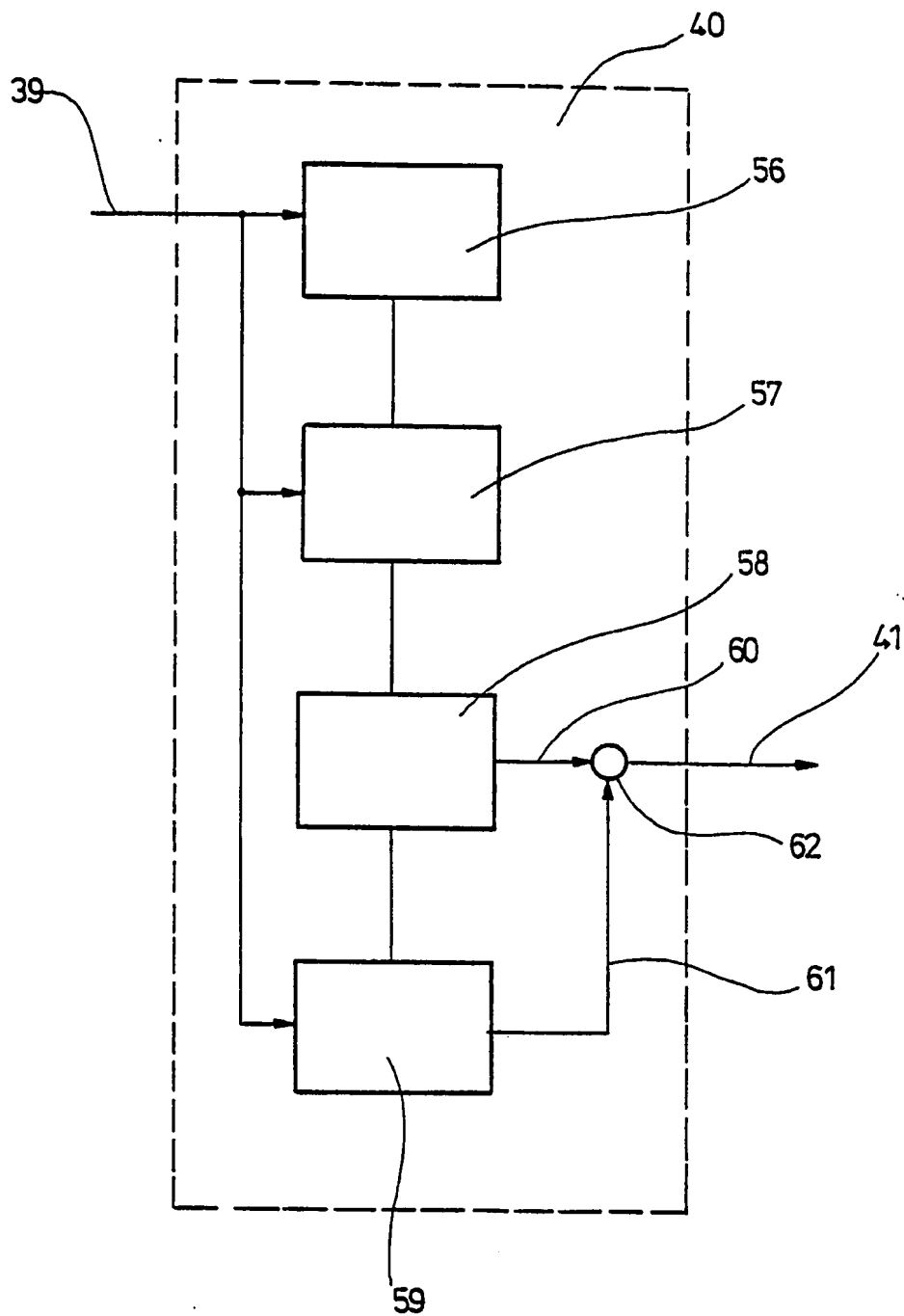
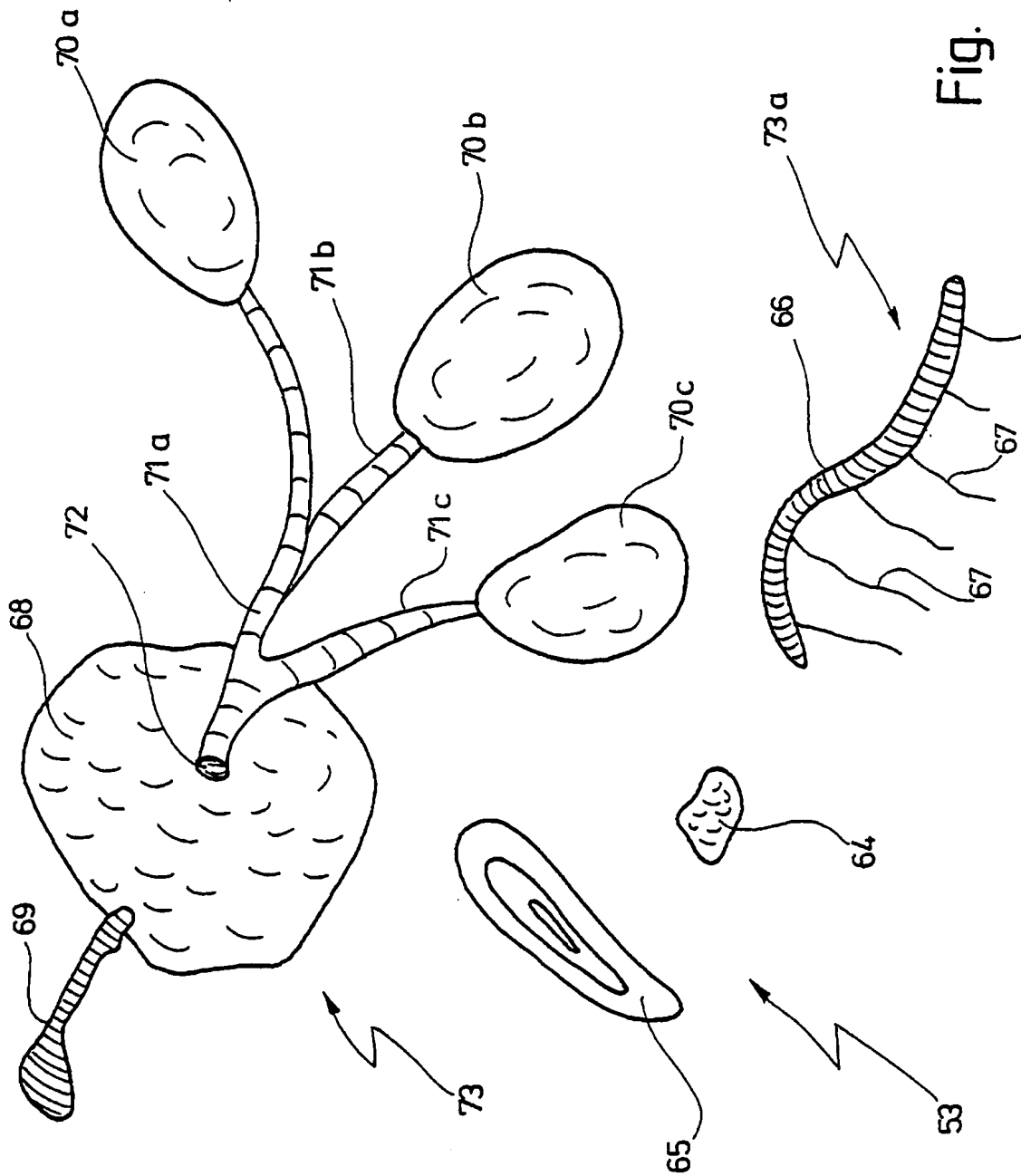


Fig. 5



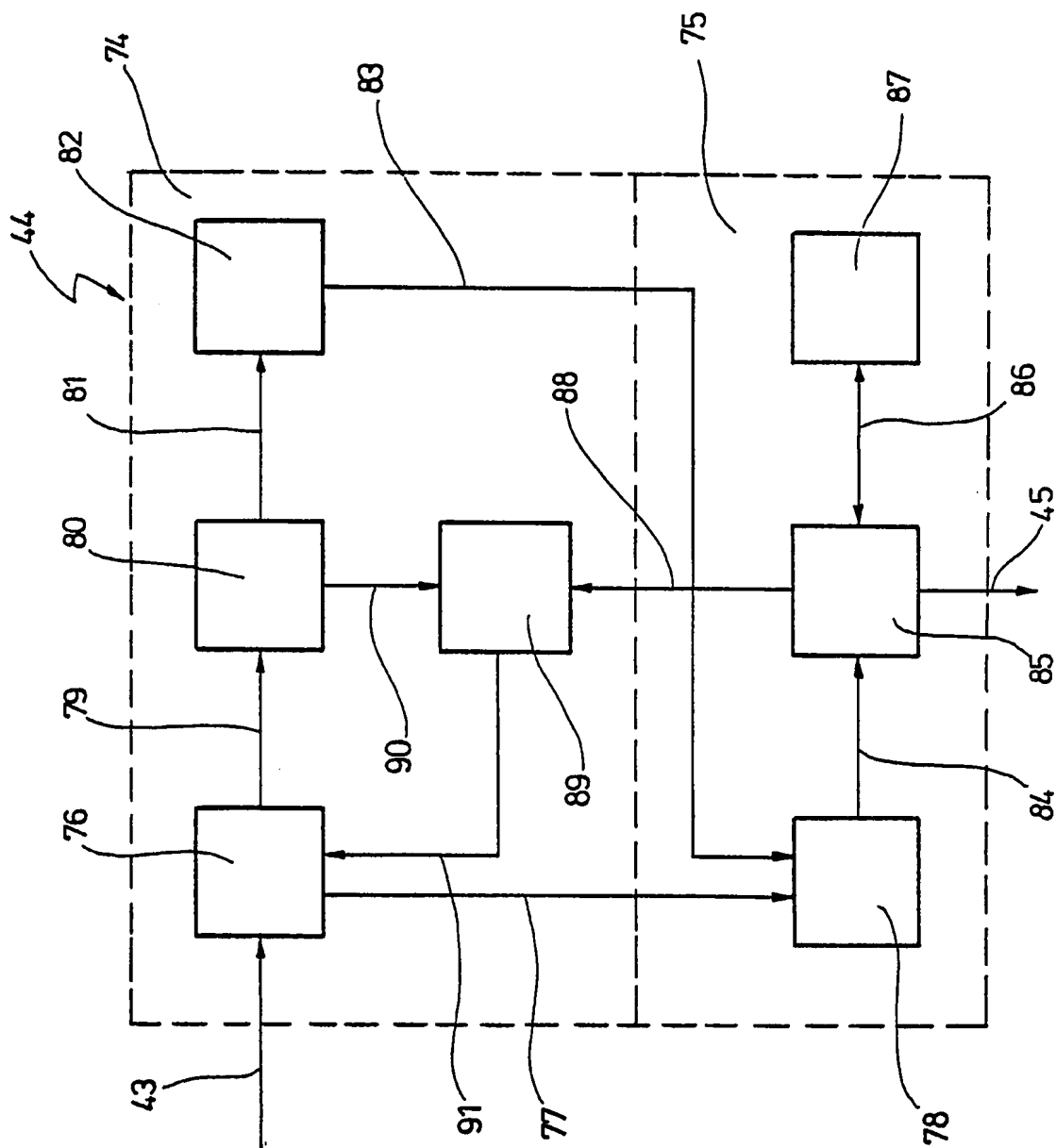


Fig. 7

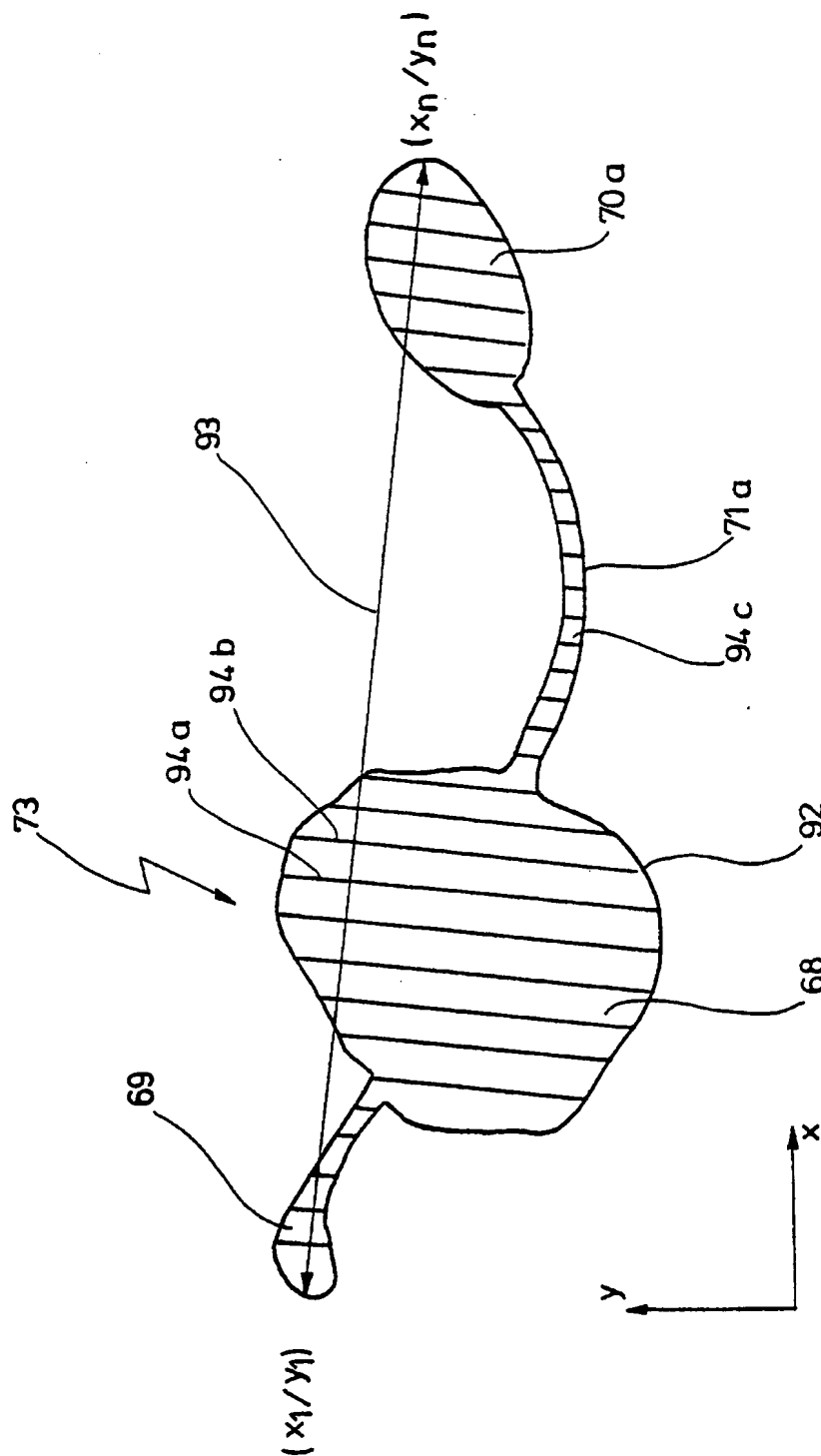


Fig. 8

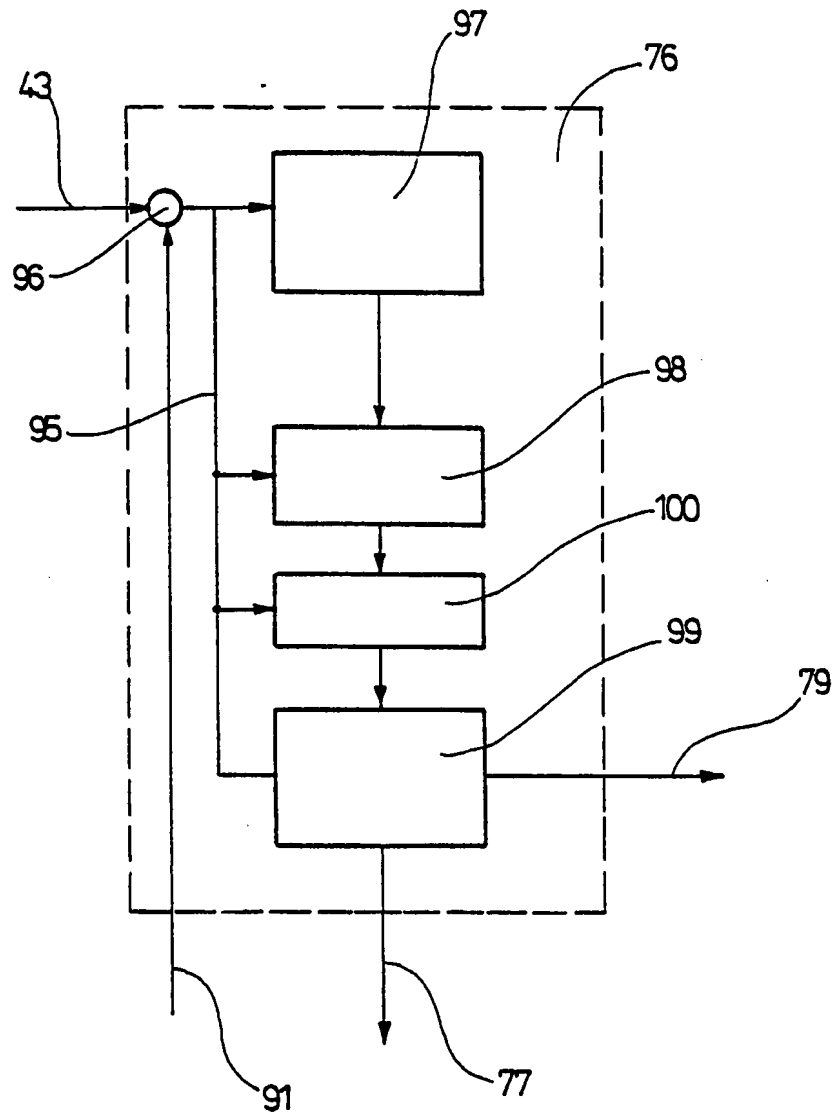


Fig. 9

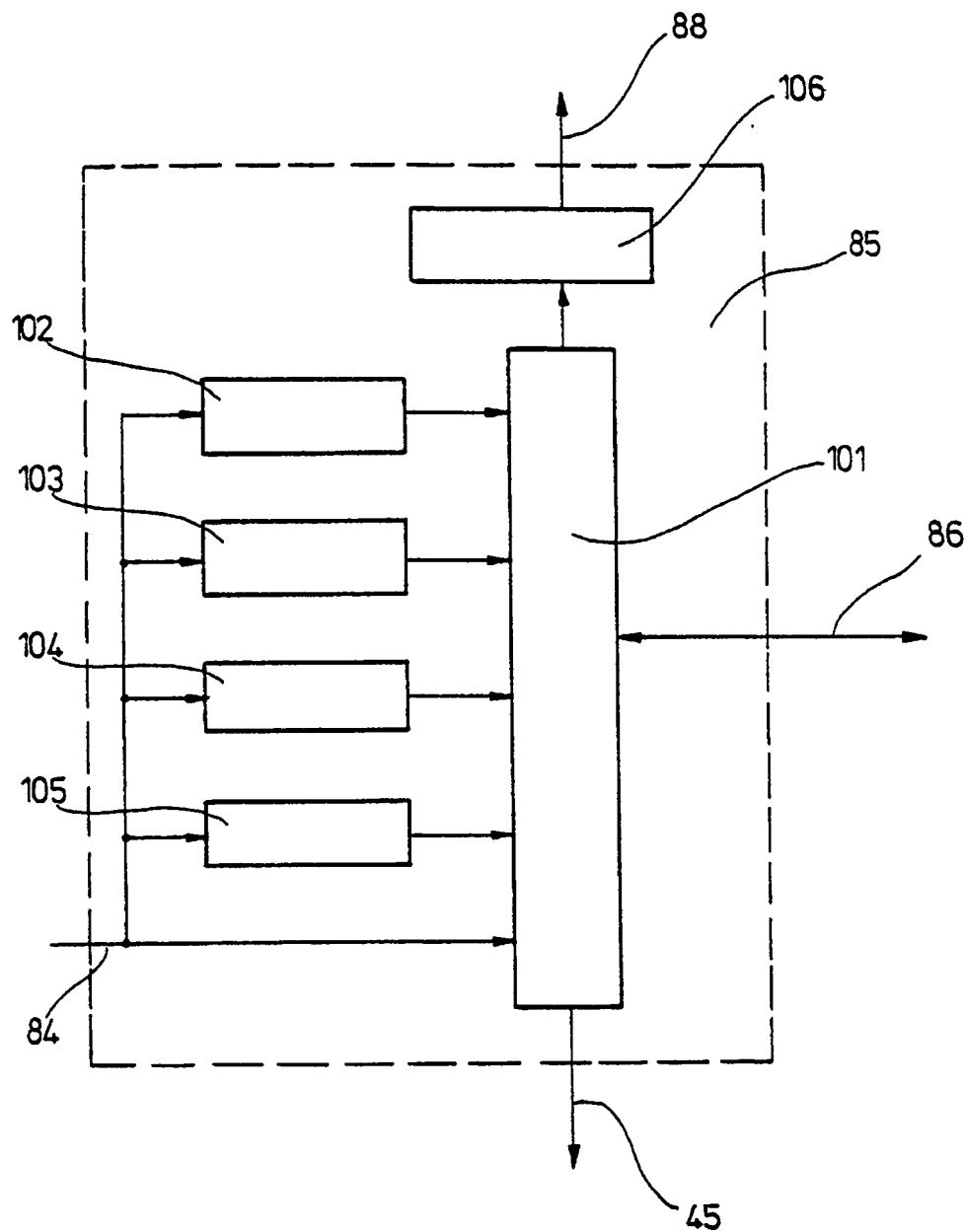


Fig. 10